

Aus dem Anatomischen Institut Zürich.
(Direktor: Prof. Dr. Gian Töndury).
Arbeit unter Leitung von Prof. Dr. Otto Bucher.

Der funktionelle Bau der Symphyse im Embryonal- und Kindesalter, auf Grund von Untersuchungen im polarisierten Licht

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde der Medizinischen Fakultät
der Universität Zürich

vorgelegt von

J. Paul Baer

von Zürich

Genehmigt auf Antrag von Prof. Dr. Gian Töndury



Zürich 1949

Verlag von S. Karger in Basel

INHALTSÜBERSICHT

	Seite
I. Einleitung und Fragestellung	3
II. Untersuchungsmaterial und -technik	4
III. Entwicklung und grobanatomischer Bau der Symphyse	6
IV. Polarisationsoptische Untersuchung der Symphyse	8
1. Horizontalschnitte	8
2. Frontalschnitte	15
3. Sagittalschnitte	18
V. Diskussion der morphologischen Befunde	21
VI. Der funktionelle Bau der Symphyse	25
VII. Zusammenfassung	29
VIII. Literaturverzeichnis	30

Meinen Eltern gewidmet



Aus dem Anatomischen Institut Zürich
(Direktor: Prof. Dr. Gian Töndury)
Arbeit unter Leitung von Prof. Dr. Otto Bucher

DER FUNKTIONELLE BAU DER SYMPHYSE IM EMBRYONAL- UND KINDESALTER AUF GRUND VON UNTERSUCHUNGEN IM POLARISIERTEN LICHT¹⁾

von J. PAUL BAER

I. Einleitung und Fragestellung.

Die Schamfuge ist ein wichtiger Anteil des Beckenringes, müssen hier doch die verschiedensten Kraftwirkungen aufgefangen werden. Es war daher interessant, die Symphyse auf ihren, den verschiedenen Beanspruchungen entsprechenden Bau zu untersuchen.

Da auch frühere Entwicklungsstufen von Geweben und Organen aufschlußreich für ihren späteren funktionellen Bau sein können, untersuchte ich zunächst das foetale und extrauterine Wachstum der Symphyse. Dabei bot sich technisch folgender wichtiger Vorteil: Die fibrilläre Struktur des bei den embryonalen Symphysen vorherrschenden Hyalinknorpels läßt sich polarisationsmikroskopisch – wegen der erst geringen Dichte der Fibrillen – besonders gut untersuchen (vgl. auch R. Amprino, 1938).

Die histologische Untersuchung gefärbter Präparate des faserknorpeligen und bindegewebigen Anteils der Symphyse ist auch durch W. Putschar (1931), R. Gatta (1934), L. Haslhofer (1941) u. a. (sowohl beim Erwachsenen wie während der Entwicklung) durchgeführt worden. Eine etwas eingehendere Untersuchung des hyalinknorpeligen Anteiles der Symphyse rechtfertigte sich auch deshalb, weil nachzuprüfen war, ob das von O. Bucher (1942) beim Tracheal- und Nasenknorpel aufgezeigte Anordnungsprinzip der Knorpelfibrillen sich auch auf die Symphyse übertragen läßt.

Dafür waren eingehende polarisationsoptische Untersuchungen notwendig; diesbezügliche Angaben sind in der Literatur nur spärlich anzutreffen.

¹⁾ Inauguraldissertation der medizinischen Fakultät der Universität Zürich.

Am *Symphysenknorpel des Erwachsenen* sah *H. Petersen* (1935), daß in der Stellung des Schnittes (Horizontalschnitt?) in der die einstrahlenden Fibrillen am hellsten sind, die Zwischenschichten des Hyalinknorpels dunkel erscheinen.

Über den Fibrillenverlauf in der *wachsenden Symphyse* wird von *Amprino* und *Bairati* (1934) erwähnt, daß im ventralen Teil der Symphyse die kollagenen Fasern direkt in den Hyalinknorpel eintreten.

Alle Forscher sind sich über die statische Bedeutung der Schamfuge für die Gewölbekonstruktion des Beckens einig. Jedoch betonen die einen mehr ihre federnde und druckelastische Wirkung, die anderen mehr ihren Widerstand gegen Zugkräfte. *E. Walkhoff* (1904) behauptet, daß bei aufrechter Haltung eine gewaltige Druckkraft auf die Symphyse wirke, während letztere im Liegen eine gewisse Zugspannung erleide. *R. Fick* (1904) betont die Wirkung des Luftdruckes, der ein Auseinanderweichen der Schamfuge verhindert, in welchem Fall allerdings der Faserknorpel den freiwerdenden Raum ausfüllen könne. Er kommt zum Schluß, daß bei Belastung des Beckengewölbes durch Druck auf das Sacrum eine Querspannung in der Symphyse deutlich nachweisbar ist und bringt damit die klinische Tatsache in Verbindung, daß bei gesprengter Schamfuge das Stehen und Sitzen schmerzhaft ist.

H. Strasser (1908) hebt die Zugspannung vor allem beim Stehen mit gespreizten Beinen, angespannten Adduktoren und stark geneigtem Becken hervor. Sehr spärlich sind die Angaben über Kraftwirkungen, welche die Schamfuge bei ungleichmäßiger Belastung des Beckens während des Gehens und Laufens erleidet. *H. Braus* (1929) gibt an, daß beim Stehen auf einem Bein das betreffende Hüftbein nach Art eines schräg stehenden Waagebalkens beansprucht wird, der im Hüftgelenk drehbar ist. Hinten lastet das Gewicht des Oberkörpers, vorn das Gegengewicht der Bänder und Muskeln der Huft auf der Waage. Nach *R. Fick* ist an der *isolierten* Symphyse nicht nur eine Knickung möglich, sondern die beiden Hälften lassen sich auch im Sinne einer Schubladenbewegung vor- und zurück-, auf- und abschieben. Die Zugfestigkeitsgrenze liegt etwa bei 200 kg. Eine Zerreißung kann u. a. beim Zurückfallen des hochgeworfenen Reiters auf den Sattel zustande kommen.

In der Schwangerschaft ist beim Stehen auf einem Bein röntgenologisch an der Schamfuge deutlich eine Verschiebung des belasteten gegen den unbelasteten Schambeinast festzustellen (*H. Martius*). Bei der Geburt kann es durch kräftige Wehen u. U. sogar zur Luxation der Symphyse kommen (*Fick*).

II. Untersuchungsmaterial und Technik.

In der vorliegenden Arbeit wurden folgende Präparate untersucht: 1. 10 Serienschnitte von 6–12 Wochen alten Embryonen, 2. 12 formolfixierte Symphysen von 12–32 Wochen alten Foeten beiderlei Geschlechts und 3. 20 Symphysen von Neugeborenen und Kindern bis zu 7 Jahren.¹⁾

¹⁾ Die embryonalen und ein Teil der Neugeborensymphysen wurden mir vom Anatomischen Institut (Prof. Dr. G. Töndury), die übrigen durch die freundliche Vermittlung von Herrn Priv.-Doz. Dr. H. U. Zollinger vom Pathologischen Institut (Prof. Dr. H. v. Meyenburg) zur Verfügung gestellt, wofür ich hier meinen besten Dank aussprechen möchte.

Einer *makroskopischen Untersuchung* unterzog ich die kindlichen und einige foetale Symphysen. Grobe Festigkeitsprüfungen wurden nicht ausgeführt, hingegen versuchte ich mir an Hand der Scheiben, in welche ich die einzelnen Symphysen zwecks Anfertigung von Gefrierschnitten zunächst zerlegte, ein Bild von den mechanischen Eigenschaften der verschiedenen Gewebsanteile der Schamfuge zu machen. Diese Scheiben wurden dann in ihrem hyalin- und faserknorpeligen Anteil vermittle einer mit Tusche behafteten spitzen Nadel unter der Binokularlupe *gestichelt* (vgl. Abb. 2).

Außerdem wurden 60 und 90 μ dicke, entparaffinierte Schnitte foetaler Symphysen folgendermaßen präpariert: Man breitet einen solchen Schnitt in einem wenige Tropfen Aqua dest. enthaltenden Farbschälchen aus. Der Schnitt soll sich mit zwei Nadeln beliebig bewegen lassen und nirgends an der Unterlage kleben. Nun durchstößt man mit den beiden einander bis auf wenige Millimeter genäherten Nadelspitzen an irgend einer Stelle den Schnitt und zerreißt das Knorpelgewebe, indem man die auf der gläsernen Unterlage gleitenden Nadelspitzen voneinander entfernt. Ganz gleichgültig, in welcher Richtung man zieht, entsteht immer ein Riß von gesetzmäßigem Verlauf, wobei der frei schwimmende Gewebsschnitt sich entsprechend einstellt (*Rißlinienmethode*).

Liegen die beiden Nadelspitzen in der Ausgangsstellung ungefähr in der zukünftigen Rißrichtung, und zieht man sie nun auseinander, so zerschneidet die spitzere der beiden Nadeln den Knorpel ohne weiteres in dieser Richtung. Bringt man dagegen die Nadelspitzen derart auf den Schnitt, daß ihre Verbindungslinie ungefähr senkrecht zur zukünftigen Rißrichtung verläuft, so schneiden die Nadeln nicht in den Knorpel ein, sondern es entsteht irgendwo dazwischen der Riß, welcher auch mehr oder weniger senkrecht zur Zugrichtung der Nadeln liegt. Das beweist, daß der Knorpel in dieser bestimmten Richtung am leichtesten reißt, sich also in bezug auf verschiedene Richtungen different verhält. Diese Risse lassen sich verlängern, bis sie entweder die Grenze des Präparates erreichen oder in sich zusammenlaufen (s. Abb. 2).

An ein und demselben Gewebsschnitt kann man viele derartige Risse herstellen und verfolgen, doch müssen die einzelnen Gewebstreifen eine gewisse minimale Breite haben, da sie sonst quer durchreißen. Auch sind die Resultate dieser Methode nicht für alle Stellen der Schnitte gleichermaßen eindeutig; zum Teil vermag sie jedoch noch klarere und anschaulichere Bilder zu geben als die Stichelungsmethode, mit der sie große Ähnlichkeit besitzt.

Um den Verlauf der doppelbrechenden kollagenen Elemente mit der Rißrichtung in Beziehung zu bringen, kann man die Binokularlupe an Stelle des Tubus des Polarisationsmikroskopes einsetzen und dem einen Tubus einen Analysator (kleiner Polarisationsapparat) aufsetzen. Durch den einen betrachtet man das polarisierte, durch den andern das natürliche Lupenbild.

Einige mit der Reißlinienmethode hergestellte Präparate wurden zum Vergleich von Fibrillen- und Spaltrichtung in Glycerin-Gelatine eingebettet.

Durch monatelange Mazeration mit 5 % HNO_3 löste sich bei einigen formolfixierten Symphysen von Kindern der hyaline Knorpel elektiv heraus. Nach der Entfernung geleeartig veränderter, nicht doppelbrechender Reste der hyalinen Substanz stellten sich die Knorpelgefäße als frei herausragende bäumchenartige Gebilde dar.

Zur *mikroskopischen Verarbeitung* teilte ich das Untersuchungsmaterial – unabhängig vom Geschlecht – nach dem Alter in Dreier-Gruppen ein. Aus jeder Gruppe wurde je eine Symphyse in horizontaler, in frontaler und in sagittaler Richtung geschnitten. Von den jüngeren Stadien wurden vorwiegend Paraffinschnitte, von den älteren Gefrierschnitte hergestellt. Von je fünf aufeinanderfolgenden Schnitten wurden die ersten zwei zur polarisationsoptischen Untersuchung 15, 30, 60 oder sogar 90 und 120 μ dick, die übrigen drei dünn (8–12 μ) geschnitten und nachher mit Haematoxylin-Eosin, Azan oder Pikrofuchsin (nach van Gieson) gefärbt.

Die dicken Schnitte wurden zur polarisationsmikroskopischen Untersuchung ungefärbt in Glycerin-Gelatine eingebettet (dieses Medium ist besser geeignet als Kanadabalsam, weil störende Kristalle hier langsamer auftreten).

Auf die Fett- und Elastinfärbung wurde deshalb verzichtet, weil diese Verhältnisse durch die eingehenden Untersuchungen von *Putschar* als bekannt betrachtet werden konnten. Um bei den embryonalen Schnitten die schwache Doppelbrechung der kollagenen Fibrillen deutlicher zu machen, wurden einige Schnitte ein bis mehrere Tage lang in Karbol-Xylol eingelegt, wobei die Doppelbrechung zwar umgekehrt, gleichzeitig jedoch wesentlich verstärkt wird.

III. Entwicklung und grobanatomischer Bau der Symphyse.

Beim 11 mm langen (ca. 1 Monat alten) *Embryo* treten die 3 Knorpelzentren der wenige Tage später einheitlichen, dreistrahligen Knorpelplatte auf, von welcher der Beckengürtel auf jeder Seite gebildet wird. Während der dorsale Teil dieser Platten die Wirbelsäule früh erreicht, nähern sich die beiden Schambeinknorpel nur langsam. Dazwischen befindet sich ein Mesenchym, das schließlich nur noch eine sehr dünne Trennungsschicht zwischen den beiden Schambeinknorpeln bildet. Aus dieser medial und ventral gelegenen Zone des knorpeligen Beckengürtels bildet sich dann im Laufe der Entwicklung die eigentliche Symphyse. Abb. 1 zeigt, wie sich die

Gewebsbestandteile der Schamfuge im Laufe des embryonalen Wachstums und beim Kind in mittleren Horizontalschnitten zueinander verhalten.

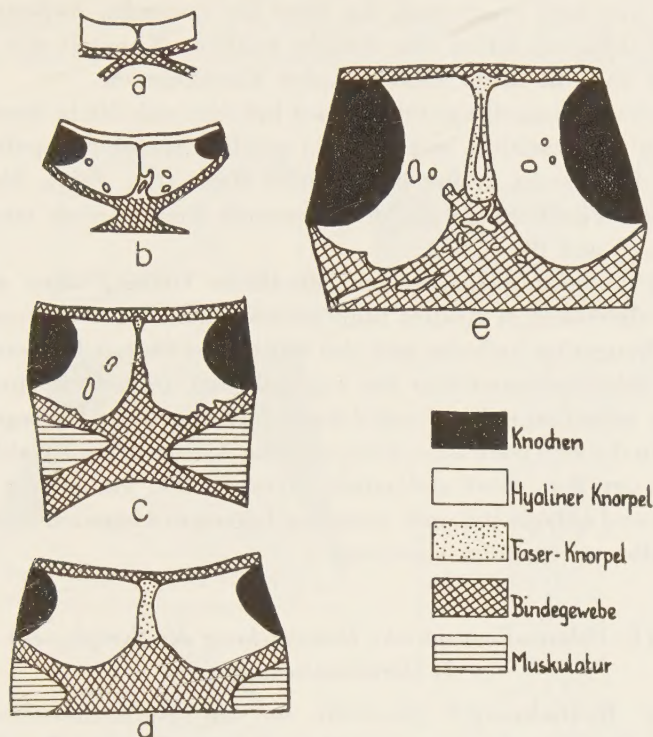


Abb. 1. Horizontalschnitte durch foetale und kindliche Symphysen, halbschematisch bei 3facher Vergrößerung. — a) Männlicher Foetus von 12,3 cm Gesamtlänge (14. Woche). — b) Weiblicher Foetus von 26,1 cm Gesamtlänge (21. Woche). — c) Männlicher Foetus von 44,7 cm Gesamtlänge (34. Woche). — d) Weibliches Neugeborenes. — e) 14 Monate alter Knabe.

Im 5. Embryonalmonat beginnt auch die Vaskularisation des Schambeinknorpels (vgl. auch S. 23); sie erreicht beim Neugeborenen die stärkste Ausbildung und bildet sich vom 5. bis 17. Jahr zurück (W. Putschar, 1931).

Der Knochenkern des Os pubis entsteht im 4. bis 5. Monat und die nach der Mitte zu wachsenden Schambeinäste ersetzen immer mehr Hyalinknorpel durch Knochen. Im Kindesalter zeigen die der Symphyse zugekehrten Flächen der Schambeinäste eine höckerige Oberfläche. Es treten beim 19–22jährigen ventrale Randepiphysen auf (Putschar).

Beim Erwachsenen zeigt die Symphyse schließlich folgenden grob-anatomischen Bau: Die Schoßfuge ist eine Knorpelhaft, welche

sich zwischen den Symphysenflächen der beiden Schambeine befindet. Der Schoßfugenknorpel als Ganzes ist vorn und oben breiter als hinten und unten, weil er sich auf der Vorder- und Oberfläche der Schambeine noch etwas nach der Seite hin erstreckt. Zwischen den Schambeinflächen bildet eine Schicht hyalinen Knorpels den Übergang zu dem die Mitte einnehmenden Faserknorpel.

In der Fibrocartilago interpubica befindet sich die in ihrer Ausdehnung sehr variable, mit Synovia gefüllte Symphysenspalte, die bei der Frau meist größer ist als beim Mann (*Ch. Aeby*). Sie wird durch die Fibrillenzüge des Faserknorpels konzentrisch eingefasst (Abb. 4, 7 und 8).

Die Faserknorpelplatte geht an ihrem Umfang ohne scharfe Grenze allmählich in straffes Bindegewebe über, das noch besondere Verstärkungszüge aufweist und sich seitlich ins Periost fortsetzt. Am oberen Schambeinrand liegt das Lig. pubicum, im Schambeinwinkel das Lig. arcuatum pubis. Ventral findet sich eine dicke Bindegewebsplatte, in der sich mehr oder weniger große Anteile der einstrahlenden Sehnen der Mm. recti abdominis, pyramidales, adductores longi, graciles und obliqui abd. ext. sowie der Ligamenta inguinalia und der Linea alba miteinander verweben.

IV. Polarisationsoptische Untersuchung der Symphyse.¹⁾

1. Horizontalschnitte.

Der Hyalinknorpel übertrifft in den Horizontalschnitten²⁾ embryonaler Symphysen an Ausdehnung die übrigen Gewebsarten (s. Abb. 1). Erst im Kindesalter beginnt er gegenüber dem Faserknorpel zurückzutreten (*C. Zulauf*, 1901).

Mit dem Auftreten der Knochenkerne des Schambeines (4.–5. Monat) zeichnet sich die charakteristische *Form des Schambeinknorpels* im Bereich der Symphyse ab. Im dorsalen Teil berühren die beiden Hyalinknorpel einander beinahe und bilden zusammen eine geringe, blasenwärts gerichtete Vorwölbung. Die Umrisslinie der beiden Knorpel biegt hier in scharfem Bogen in die sagittale Richtung um, beschreibt dagegen ventral eine sanfte Rundung und spart dadurch in der Mitte einen dreieckigen Bezirk aus, das mit Bindegewebe ausgefüllte „vordere Symphysendreieck“.

¹⁾ Über die Technik der Polarisationsmikroskopie vgl. in der betreffenden Spezialliteratur (z. B. bei *W. J. Schmidt*).

²⁾ Diese Schnittebenen liegen parallel der Beckeneingangsebene.

Im polarisierten Licht zeigen die Horizontalschnitte eine vorwiegend sagittale *Fibrillenhaupttrichtung* (= Rißlinienrichtung). Das einfachste Bild zeigt die Symphyse eines 12,3 cm langen Foetus (14. Woche), bei dem noch kein Knochenkern vorhanden ist. Während die Rißlinien (s. Abb. 2a) in Symphysennähe fast gerade verlaufen, sind sie umso konkaver nach der Seite gebogen, je lateraler sie liegen.

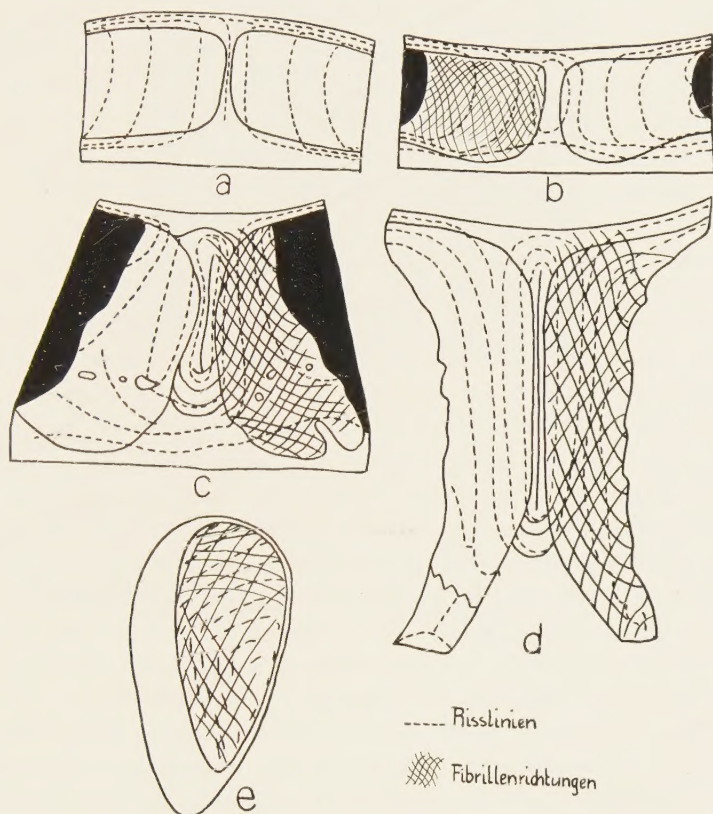


Abb. 2. Schematische Darstellung der Rißlinien (gestrichelt) und Fibrillenrichtungen (ausgezogen) folgender Symphysen: – a) Mittlerer Horizontalschnitt; männlicher Foetus von 12,5 cm Gesamtlänge (14. Woche). 10fache Vergrößerung. – b) Mittlerer Horizontalschnitt; weiblicher Foetus von 38,8 cm Gesamtlänge (30. Woche). 6fache Vergrößerung. – c) Mittlerer Horizontalschnitt; 7 jähriges Mädchen. 3fache Vergrößerung. – d) Mittlerer Frontalschnitt; 3½ jähriger Knabe. 2½fache Vergrößerung. – e) Paramedianer Sagittalschnitt; 10 Monate altes Mädchen. 1½fache Vergrößerung.

Im Bereich des später an Ausdehnung zunehmenden vorderen Symphysendreiecks divergieren sie – entsprechend dem Auseinanderweichen der Hyalinknorpel – schon in der medianen Zone (s. Abb. 1, 2a–c). Nach dem Auftreten des Knochenkerns beginnt sich der *ventrale Teil des hyalinen Schambeinknorpels* im Gebiet des vorderen Symphysendreiecks nach vorn vorzuwölben. Hier verlaufen Rißlinien- und Fibrillenhaupttrichtung schließlich transversal (s. Abb. 2b und 2c).

Die Fibrillenhaupttrichtung gibt jedoch nur den allgemeinen bzw. scheinbaren Verlauf der Fibrillen an. Einen gewissen Anhaltspunkt für den tatsächlichen Fibrillenverlauf vermittelt die Richtung der *Fibrillenstreifen*: Als Fibrillenstreifen werden die beim Drehen des Präparates an einer zunächst in Auslöschstellung befindlichen Stelle zuerst aufleuchtenden und direkt sichtbaren Fibrillenzüge bezeichnet. Sie lassen sich meist auf nur kurze Strecken verfolgen (vgl. Abb. 3). Den beiden Drehrichtungen (des Objektisches) entsprechend gibt es an jeder Stelle (des Interterritoriums) *zwei* sich unter einem Winkel von meist 30° bis 60° kreuzenden Fibrillenstreifen, welche ein in die Schnittebene projiziertes (räumliches) Fibrillenbüschel einschließen (s. S. 21). In Abb. 2a–c wurde versucht, den Verlauf der Fibrillenstreifen schematisch darzustellen.

In der unmittelbaren *Umgebung der Knorpelgefäßkanäle* leuchten die Fibrillenstreifen besonders stark auf. Sie behalten aber ihre Richtung bei und scheinen erst unmittelbar in der Wandung der Knorpelgefäßkanäle in die letztere ringförmig umgebenden Fibrillenzüge (negative Kreuze) überzugehen. Die Knorpelgefäße stören den Verlauf der Fibrillenstreifen nicht wesentlich; nicht einmal in der stark vaskularisierten Übergangszone zwischen dem dorsalen und ventralen Anteil des Hyalinknorpels.

Hier dreht sich die Fibrillenhaupttrichtung in etwas unübersichtlicher Weise um 90° . Diesem abrupten *Richtungswechsel* entspricht jedoch ein nur geringer der Fibrillenstreifen, die mit einer leichten Biegung von ihrem vorwiegend sagittalen Verlauf in einen mehr transversalen übergehen. Damit verläuft auch ihre Winkelhalbierende transversal.

Im *dorsalen Perichondrium* mit seinem vorwiegend transversalen Faserverlauf münden die subperichondralen Fibrillenstreifen in der bekannten Art arkadenförmig ein. Jedoch überwiegen polarisationsoptisch die nach lateral verlaufenden Fibrillen. Dementsprechend biegen hier die Rißlinien scharf nach lateral um, soweit sie nicht in



Abb. 3. Embryonales Symphysenbindegewebe, Kreuzungen der Fibrillenstreifen. Horizontalschnitt mittlerer Höhe; weiblicher Foetus von 26,1 cm Gesamtlänge (21. Woche). 80fache Vergrößerung. Große Teile des Präparates befinden sich in Auslöschstellung. In der oberen Hälfte der Abb. beachte man die im Hyalinknorpel schräg von links oben nach rechts unten verlaufenden schwarzen Streifen, welche die von rechts oben nach links unten verlaufenden hellen Streifen an ihren Kreuzungspunkten unterbrechen. Die Polarisationsachsen verlaufen in Abb. 3–9 parallel zu den Bildrändern.

den (medianen) Bereich des dorsalen Faserbogens des Symphysenknorpels fallen, wo sie nach medial abbiegen (s. Abb. 2b und 2c) und analog verlaufende Fibrillenstreifen überwiegen.

Bei einem 12,3 cm langen Embryo (14 Wochen) sind die *beide Knorpel bogenförmig verbindenden Fasern* noch kaum angedeutet. Eine zell- und faserreiche, im polarisierten Licht stark aufleuchtende Schicht embryonalen Bindegewebes von der Breite mehrerer Zellreihen trennt die beiden Knorpel voneinander. Es handelt sich um eine Appositionszone des wachsenden Knorpels.

Die mediane Reißlinie in diesem Gewebe reicht hinten und vorn bis zum Perichondrium und entsteht fast ohne Kraftanwendung, da die Fasern sagittal verlaufen (vgl. auch R. Gatta, 1934). Der *Spalt*

ist demnach schon in diesem frühen Stadium vorgebildet, so daß er später (nach der Geburt) durch eine geringe Verschiebung der beiden Knorpel gegeneinander manifest werden kann. Bei nicht ganz sorgfältiger Behandlung der Präparate erscheint er bereits bei embryonalen Symphysen (*Loeschke*). So lassen sich auch die zum Teil stark wechselnden Angaben über den Zeitpunkt des Auftretens dieser Spalte (*Ch. Aeb*y 1858, *Zulauf*, *Fick*, *Putschar*, *Amprino* und *Bairati*) erklären.

Das *embryonale Symphysenbindegewebe* grenzt sich scharf gegen den Hyalinknorpel ab. Im polarisierten Licht kann man beim Drehen des Präparates das Einbiegen der Fibrillen in den Hyalinknorpel feststellen. Die Abb. 3 zeigt diese Zone bei einem 26,1 cm langen weiblichen Foetus (von 21 Wochen). Das intensive, aber etwas diffuse Aufleuchten ist durch die sagittal verlaufenden Fibrillenzüge bedingt, die in den Hyalinknorpel einbiegen. Etwas später (weiblicher Embryo von 38,8 cm) wird das embryonale Symphysenbindegewebe dreischichtig, indem sich in der Medianebene eine wenig intensiv aufleuchtende, faserarme Gewebsschicht bildet. Dorsal und ventral verbinden feine, in konvexem Bogen verlaufende Bindegewebsfasern die beiden Knorpel. Sie lassen sich im Knorpel polarisationsmikroskopisch teilweise weiterverfolgen.

Der *dorsale Faserknorpelbogen* geht blasenwärts allmählich ins Bindegewebe über, wobei die einzelnen Faserschichten durch immer mehr quer geschnittene Faserlagen abgelöst werden (s. Abb. 4). In der Richtung nach dem Spalt hin werden die bogenförmigen Faserbündel immer feiner. Im Zentrum dieses Halbkreises liegt eine optisch fast inaktive Zone, die einem Gebiet des Faserknorpel entspricht, das vielzellige Chondrone enthält (*Loeschke*), die im polarisierten Licht als negative Kreuze imponieren. Ob es sich dabei um degenerativ verändertes Gewebe handelt, wie *Putschar* glaubt, ist fraglich. Funktionell betrachtet ist es ein vollwertiges Gewebe, das wegen seiner Faserarmut, der sich schwammig anführenden Konsistenz und seiner Lage im Zentrum dieses Bogensystems am ehesten gegen Druckkräfte wirksam sein dürfte (Wasserkissen).

Bei der Symphyse eines 14 Monate alten Knaben setzte sich dieses Gewebe keilförmig auf eine kurze Strecke ins Lumen des Symphysenspaltes fort, wodurch letzterer im dorsalen Teil gabelförmig zweigeteilt erscheint. Auch hierin drückt sich die Variabilität des Cavum symphyseos aus.

Zwischen hinterem und vorderem Bogensystem wird der Faserknorpel durch die beiden Hyalinknorpel eingeengt (s. Abb. 1e und 2c). Die Fasern verlaufen hier zur Hauptsache sagittal.



Abb. 4. Dorsaler Faserknorpelbogen mit negativen Kreuzen im Zentrum. Mittlerer Horizontalschnitt durch die Symphyse eines 7jährigen Mädchens. 25fache Vergrößerung.

In der Literatur werden *hyalinknorpelige Verbindungen* besonders im dorsalen Teil der foetalen Schambeinknorpel beschrieben (*Putschar, Gatta, Amprino* und *Bairati*). Diesen Befund konnte ich nur bei einem neugeborenen Mädchen bestätigen.

Der *ventrale Faserknorpelbogen* ist dem dorsalen analog gebaut. Die den Bogen bildenden Fäserchen scheinen nicht gekreuzt zu sein, doch werden sie von Faserzügen überkreuzt, die parallel zur Faserknorpelgrenze verlaufen. Beim Eintritt in den hier schärfer als dorsal begrenzten Hyalinknorpel sieht man sie (polarisationsmikroskopisch) in die bekannten Fibrillenrichtungen umbiegen.

Hand in Hand mit der Entwicklung des ventralen Teils des hyalinen Schambeinknorpels geht diejenige des *Bindegewebes*, welches das vordere Symphysendreieck ausfüllt. Die kollagenen Faserbündel verlaufen transversal, nehmen dauernd an Dicke zu und verbinden sich immer inniger mit dem Knorpel (s. Abb. 5). Sie kreuzen sich und bilden in der medianen Zone weite Maschen, welche den Durchtritt der Gefäße gestatten. Die Bindegewebsbündel teilen sich gegen die Hyalinknorpelgrenze hin immer mehr auf und bilden

beim Eintritt in den Knorpel ein feinmaschiges Geflecht von fast rechtwinklig gekreuzten Fasern. In Übereinstimmung mit diesem Befund zeigt das Stichelppräparat an dieser Stelle keine glattwandigen Schlitzte sondern unregelmäßig ausgezackte Einstichstellen, und beim Anlegen der Rißlinien spürt man einen vermehrten Widerstand. Polarisationsoptisch lassen sich die Fasern im Knorpel als Fibrillenstreifen weiterverfolgen (s. a. *Amprino* und *Bairati*, 1934).

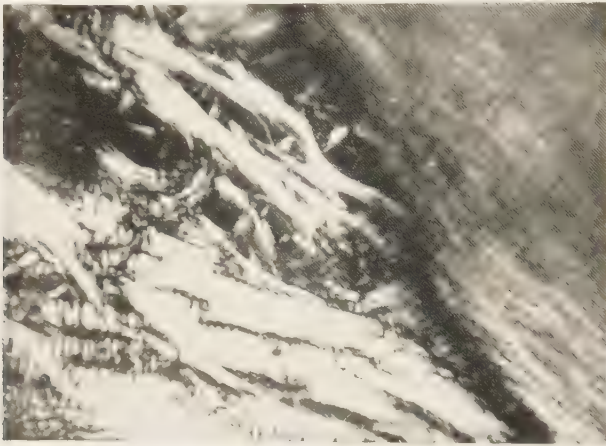


Abb. 5. Vorderes Symphysendreieck. Horizontalschnitt mittlerer Höhe; 14 Monate alter Knabe. In den Hyalinknorpel eintretende Bindegewebsfasern. 80fache Vergrößerung.

Die am meisten ventral gelegenen Bündel des vorderen Symphysendreiecks ziehen nicht von einem Knorpel zum andern, sondern in das als Muskelansatz der Gegenseite dienende Bindegewebe.

Auf caudalen Horizontalschnitten kindlicher Schoßfugen, die durch das Lig. arcuatum pubis gelegt wurden, zeigt sich ein ähnliches Bild gekreuzt, jedoch hauptsächlich transversal verlaufender Faserbündel wie im vorderen Symphysendreieck. Lateral verzweigen sich diese Fasern immer mehr und durchflechten sich – ein sehr enges Netzwerk bildend – fast rechtwinklig. Daraufhin setzen sie sich in Gestalt von Fibrillenstreifen, die sich ebenfalls noch unter verhältnismäßig großen Winkeln schneiden, in den hier dem Schambeinast anliegenden Hyalinknorpel fort (vgl. Abb 5 und 9). Eine einheitliche Fibrillenhaupttrichtung läßt sich jedoch nicht feststellen, weil

die Fibrillen sich fast rechtwinklig überkreuzen. Das Reißlinienpräparat zeigt hier einen gezackten Verlauf (s. Abb. 2d unterer Teil).

2. Frontalschnitte.

Die Frontalschnitte der Schamfuge zeigen eine eindeutig *vertikale Fibrillenhaupttrichtung* (ausgenommen im Säulenknorpel). Dies zeigt ein (120 μ dicker) Schnitt aus der Symphyse des jüngsten von mir untersuchten, 7,9 cm langen (also etwa 12 wöchigen) Embryos. Die Fibrillenstreifen kreuzen sich in ähnlicher Weise wie bei den Horizontalschnitten, jedoch mit wachsender Höhe der Schoßfuge immer spitzwinkliger (30–45°). Die subperichondralen Fibrillenstreifen biegen arkadenförmig ins Perichondrium ein.

Sehr zahlreiche Gefäßquer- und -längsschnitte findet man in den Präparaten, die der gefäßreichen Zone im Hyalinknorpel entspricht, wo in den Horizontalschnitten die Fibrillenhaupttrichtung von der sagittalen in die transversale Richtung wechselt. Noch ventralere Schnitte, die durch den vorderen Teil des Hyalinknorpels gelegt sind, zeigen keine entsprechende transversale, sondern die vertikale Fibrillenhaupttrichtung!

In der *Umgebung der Knochenkerne* zeigen die Fibrillenzüge des Hyalinknorpels ein intensiveres Aufleuchten, besonders im Bereich des Säulenknorpels; entsprechend dem hohen Fibrillengehalt findet man im gefärbten Präparat eine vermehrte Acidophilie. Die Fibrillenstreifen verlaufen bogenförmig und bilden hier ein Arkadensystem, wobei sie sich in ziemlich großen Winkeln überkreuzen. Dementsprechend biegen auch die Reißlinien- und Fibrillenhaupttrichtung nach dem Knochen hin konkav um (s. Abb. 2d). Abb. 2c zeigt, daß dies auch für die Horizontalschnitte gilt.

Während sich bei einem 5 Monate alten männlichen Säugling eine *Verzapfung des Knochens mit dem Hyalinknorpel* noch kaum erkennen läßt, ist dieselbe bei der Symphyse eines 3½-jährigen Knaben voll entwickelt. Auf die polarisationsoptischen Erscheinungen im Hyalinknorpel wirkt sich dies in dem Sinne aus, daß ein Arkadensystem höherer Ordnung sich auf dasjenige des Säulenknorpels aufpfropft. Die Pfeiler dieser großen Arkadenbogen sind in den Knochenbuchten verankert und wölben sich über den Knochenzapfen (s. Abb. 6).

Das *embryonale Bindegewebe*, welches die beiden Hyalinknorpel voneinander trennt, leuchtet im polarisierten Licht intensiv aber etwas diffus auf. Bei streng sagittalem Faserverlauf hätte man ein Fehlen des Aufleuchtens erwartet (s. S. 19.)

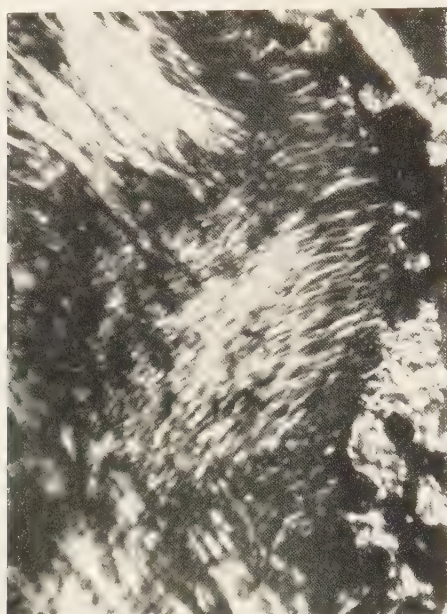


Abb. 6. Knochenknorpelgrenze. Arkadenbildung der Fibrillenstreifen. Mittlerer Frontalschnitt; 3½-jähriger Knabe. 25fache Vergrößerung.

In der 2. Hälfte der Schwangerschaft sieht man entsprechend dem an den Horizontalschnitten erhobenen Befund eine lockere Schicht zwischen den Appositionszonen, welche die beginnende Differenzierung des Faserknorpels andeutet.

Bei den Foeten stellt man in den cranial und caudal infolge der Abrundung des Hyalinknorpels entstandenen Dreiecken zunächst lockeres und später an Masse zunehmendes, vorwiegend transversal verlaufendes Bindegewebe fest. Die *Faserknorpelbogen* bei den Symphysen von Säuglingen und Kindern, die oben und unten den Schamfugenspalt abschließen, zeigen die von den Horizontalschnitten her bekannte konzentrische Schichtung (s. Abb. 7 und 8).

Innerhalb dieser Faserbogen liegt der unbestimmte *Übergang vom Faserknorpel ins Bindegewebe*, das im cranialen Teil aus einigen alternierend schräg geschnittenen Faserschichten, gefolgt von sehr spitzwinkligen geraden, dichten, dem Lig. pubicum entsprechenden Faserzügen, besteht. Caudal befinden sich die in der Mitte großmaschiger Faserbündel des Lig. arcuatum pubis.

Im polarisierten Licht erscheint der den *Spalt flankierende Faserknorpel* im Vergleich zu dem in der allgemeinen Fibrillenrichtung hell aufleuchtenden Hyalinknorpel als dunkler Streifen. Der Faserknorpel ist hier verhältnismäßig arm an doppelbrechenden Elementen. Nur wenige vertikal verlaufende kollagene Fasern leuchten auf, abgesehen von den vertikal in den Hyalinknorpel einstrahlenden Bündelenden des cranialen Faserbogens (s. Abb. 7). Dagegen lassen sich kurze, schräg aus dem Hyalinknorpel nach dem Symphysenspalt verlaufende Fasern feststellen, die im cranialen Teil schräg nach oben median, im caudalen schräg nach unten median gerichtet sind, in mittlerer Höhe sich überkreuzen und ein feinmaschiges Gitter bilden. Das Reißlinienpräparat zeigt entsprechend gerichtete, schräge Einrisse nach der Spalte hin (s. Abb. 2d).



Abb. 7. Cranialer Faserbogen. Wechselweise schräg geschnittene Faserlamellen. Übergang in den Hyalinknorpel, mittlerer Frontalschnitt; 3½-jähriger Knabe. 80fache Vergrößerung.

Die caudal gelegenen Fasern dieser Art gehen am unteren Ende des Symphysenspaltes in die unteren Bogenfasern über, die hier zunächst noch eine Knickung in der Medianlinie zeigen. In diesem



Abb. 8. Caudaler Faserbogen. Einstrahlen der kollagenen Fibrillen in den Hyalinknorpel. Gleiches Präparat wie in Abb. 6 und 7. 25fache Vergrößerung.

Gebiet des Spaltes sieht es demnach aus, als ob solche Bogenfasern in der Mitte geknickt und durchtrennt worden wären (s. Abb. 8).

Die Rißlinien- und Stichelpräparate bestätigen die polarisations-optischen Befunde an Faser- und Hyalinknorpel. Um den Spalt herum lassen sich, wie bei den Horizontalschnitten, flach *ovale*, in sich geschlossene Gewebstreifen herauschälen, die cranial und caudal bzw. ventral und dorsal aus Faser-, seitlich aus Hyalinknorpel bestehen (s. Abb. 2c und 2d).

Blasenwärts zeigen die den dorsalen Faserbogen tangential treffenden Frontalschnitte alternierend nach der einen oder andern Seite schräg verlaufende, schief geschnittene Faserschichten (s. S. 12). Die bei *Putschar* beschriebene, blasenwärts vorspringende Kantenkante kommt in diesen Schnitten in Form eines vertikal gerichteten Streifens von Knochengewebe zur Darstellung.

3. Sagittalschnitte.

Die Sagittalschnitte der Symphyse weisen schon sehr früh (8. Woche) die charakteristische Form eines quer durchschnittenen

Flugzeugflügels auf (s. Abb. 2e). Die stärkere Wölbung befindet sich blasenwärts, das stumpfe Ende ist cranial, das spitze caudal gerichtet und entspricht dem Querschnitt durch das Lig. arcuatum pubis.

Die *Fibrillenhaupttrichtung* verläuft in der dorsalen Hälfte paramedianer Schnitte horizontal, in der ventralen vorwiegend vertikal (s. Abb. 2e). Dies wird durch das Stichel- und Reißlinienpräparat bestätigt. Diese wechselnde Fibrillenhaupttrichtung kommt dadurch zustande, daß die Fibrillentreifen, die sich im hinteren Teil, bezogen auf die Horizontale, unter fast rechten Winkeln schneiden, durch ein leichtes Umbiegen nach der Vertikalen hin nun in bezug auf letztere einen Winkel von weniger als 90° einschließen. Diese Biegung der Fibrillentreifen läßt sich im Polarisationsmikroskop direkt verfolgen. Auch hier würde die flüchtige Betrachtung der Fibrillenhaupttrichtung zu ganz abwegigen Schlüssen über die Fibrillenstruktur des Hyalinknorpels führen. Die Richtung der Fibrillentreifen hat sich nur wenig geändert und behält auch in der Übergangszone den prinzipiellen Aufbau im Sinne eines räumlich gebauten Scherengitters bei.

Subperichondral stellt man blasenwärts arkadenförmig ins Perichondrium umbiegende Fibrillenzüge fest, die vorn hauptsächlich nach unten, zum Teil auch nach oben den Knorpel verlassen. Dorsal und cranial überzieht eine dünne Bindegewebslamelle den Hyalinknorpel, welche im unteren Teil fast ausschließlich aus vertikal verlaufenden, oben teilweise auch quer geschnittenen Faserschichten besteht. Ventral und caudal vom Knorpel liegen mächtigere Bindegewebsmassen, die zum Teil in denselben einstrahlen (vgl. Abb. 9). Hier überwiegen bei weitem die quergeschnittenen Fasern. Schräg nach vorn aufwärts verlaufende Bündel bilden die Sehnen der Mm. recti abdominis und pyramidales. Andere in der Ebene liegende Faserbündel verlaufen zwischen quer geschnittenen und halten insbesondere die ventralen des Lig. arcuatum zusammen. Es besteht demnach ein, die ganze Symphyse wie ein Schlauch umfassendes Fasersystem, das vorn und unten in mehrere Lamellen aufgespalten ist.

Die *Medianschnitte* der von mir untersuchten foetalen Symphysen zeichnen sich dadurch aus, daß die Fasern im Gebiet des zukünftigen Faserknorpels viel schärfer aufleuchten als die Fibrillentreifen des Hyalinknorpels. Sie haben grundsätzlich dieselben Richtungen wie jene, das heißt sie kreuzen sich unter Winkeln von ca. 45° (s. S. 17). Die allgemeine Faserichtung (analog der Fibrillenhaupttrichtung) ist

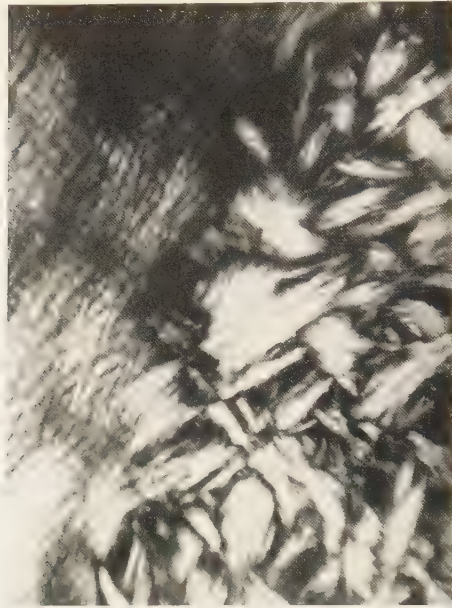


Abb. 9. Lig. arcuatum pubis, Kreuzweise in den Hyalinknorpel einstrahlende Bindegewebsbündel. Paramedianer Sagittalschnitt; 10 Monate altes Mädchen. 80fache Vergrößerung.

auf mittlerer Höhe horizontal, im cranialen Teil immer mehr nach vorn unten, im caudalen dagegen nach vorn oben geneigt. Der Schnittpunkt dieser beiden letzteren Richtungen liegt daher vor der Symphyse, der Schnittwinkel beträgt ca. 45° .

Die medianen Sagittalschnitte durch Symphysen von Säuglingen und Kindern lassen noch einige ergänzende, den *Faserknorpel* betreffende Beobachtungen zu. Auch hier – wie im Frontalschnitt – läßt das Aufleuchten von relativ wenigen Fasern auf eine im Vergleich zum Hyalinknorpel und Bindegewebe lockere Struktur schließen. Es handelt sich bei der den Symphysenspalt begrenzenden Schicht um ein feinmaschiges Netzwerk feiner, sich überkreuzender Fasern mit vorwiegend sagittalem Verlauf (s. S. 12).

Das dorsale und ventrale *Bogenfasersystem* erscheint als fein punktierte Fläche: es sind die quer geschnittenen Bogenfasern. An der Peripherie finden sich wechselweise schräg getroffene Faserschichten (Zwiebelschalenstruktur, *Zulauf*), was mit den Befunden an den Horizontal- und Frontalschnitten übereinstimmt.

V. Diskussion der morphologischen Befunde.

Der *Hyalinknorpel* der Schamfuge zeigt einen sehr gesetzmäßigen Bau. Die Richtungen der Fibrillenstreifen sind aber nicht nur bei allen Individuen gleicher Entwicklungsstufe in jeder der 3 Schnittebenen konstant, sondern sie bleiben während der ganzen embryonalen und kindlichen Entwicklung im Prinzip dieselben. Die Fibrillenstreifen verlaufen in den Horizontalschnitten (mit Ausnahme des ventralen Teiles) spitzwinklig zur sagittalen Richtung, in den Frontalschnitten dagegen mehr senkrecht, während sie in den Sagittalschnitten spitzwinklig teils zur sagittalen, teils zur senkrechten Richtung verlaufen. Im dorsalen Anteil des Hyalinknorpels (Bereich der Symphysenspalte) finden sich demnach keine transversal verlaufenden Fibrillenzüge, sondern nur spitzwinklig zur Sagittalebene verlaufende. In funktioneller Hinsicht ist dies für die Druckbeanspruchung der Schamfuge wichtig (s. S. 26).

Exaktere Aussagen über den tatsächlichen Verlauf der einzelnen Fibrillen sind nach diesen Untersuchungen nicht möglich. Ganz ungenügend für die Ermittlung der Fibrillenrichtung wäre die Feststellung der Fibrillenhauptrichtung allein, denn diese stellt für jede Stelle des Präparates einzig die Resultante aus allen hier verlaufenden und sich büschelartig kreuzenden, in die Schnittebene projizierten Fibrillen dar. Eine verhältnismäßig geringe Richtungsänderung der Fibrillenstreifen kann einen ziemlich unvermittelten Wechsel der Fibrillenhauptrichtung um einen rechten Winkel verursachen (s. S. 10 und 19). Damit kann sich allerdings auch die funktionelle Bedeutung der betreffenden Knorpelpartien ändern (s. S. 28).

Meine Befunde stimmen mit dem von *O. Bucher* festgestellten Bauprinzip des hyalinen Knorpels überein. Vor allem gilt dies für das System spitzwinklig gekreuzter Fibrillen im Innern des hyalinen Symphysenknorpels (vgl. Abb. 3 und 6). Für viele Stellen kann man sogar einen S-förmigen Fibrillenverlauf annehmen, wenn man den subperichondralen Anteil derselben mitberücksichtigt (vgl. Abb. 2). Dieser Befund scheint mir deshalb wichtig, weil damit die Gültigkeit dieses Bauprinzips an einem weiteren Beispiel – vgl. auch *R. Oberholzer* (1943) – gezeigt werden konnte.

Im Gegensatz zum Hyalinknorpel der Symphyse zeigt der *Faserknorpel* eine gewisse *Variabilität*. Sobald sich das embryonale Bindegewebe zu vermehren beginnt und die Faserbogen (vgl. Abb. 4, 7 und 8) sich entwickeln, zeigt sich die verschieden große Ausdehnung des zukünftigen Symphysenspalt (dieser kann beispielsweise auch zum Teil verzweigt sein, s. S. 12). Je nach der Lage der ventralen

Faserbogen können die Gefäße weiter oder weniger weit von vorn her zwischen die Hyalinknorpel vordringen.

Die polarisationsoptische Untersuchung ergibt grundsätzlich dieselben Resultate wie die histologische Untersuchung gefärbter Präparate verschiedener Schnittrichtungen.

Der Faserknorpel der Symphyse wird häufig mit dem der Zwischenwirbelsäule verglichen (Zulauf, Schaffer, Amprino und Bairati u. a.). Es sei hier auf einige Ähnlichkeiten und Unterschiede hingewiesen, wie sie sich im Vergleich mit einer neueren Arbeit (*A. Prader*, 1947) ergeben.

Das frühembryonale Gewebe, das zwischen den sich nähernden Schambeinknorpeln liegt, weist, zunächst (ca. 8. Woche) übereinstimmend mit den Befunden an der frühembryonalen Zwischenwirbelscheibe, Zellkerne und Fasern auf, die in ungefähr transversaler Richtung von Knorpel zu Knorpel ziehen. Da sich jedoch die beiden Schambeinknorpel einander verhältnismäßig rasch nähern (ca. 10. Woche), bleibt ein nur wenige Zellbreiten messender Zwischenraum, in welchem die Zellachsen und Fasern vorwiegend in der sagittalen Ebene verlaufen.

Bei der Zwischenwirbelscheibe treten schon frühzeitig die für ihre Gewebearchitektur typischen, zwiebelschalenartig gekrümmten Schalen und Lamellen auf. Eine ähnliche Entwicklung setzt bei der Schamfuge erst wesentlich später ein (ca. 7. Foetalmonat). Die Entwicklung des Faserknorpels (peripherer Anteil), welcher von *Prader* zunächst als Faservorknorpel bezeichnet wird, beginnt erst zur Zeit der Geburt.

Die Feststellung von *Amprino* und *Bairati*, daß die Symphyse nach dem 7. Foetalmonat völlig hyalinknorpelig sei und sich wie die sogenannte Innenzone (*Prader*) der Zwischenwirbelscheibe in Faserknorpel umdifferenziere, ist für die Mehrzahl der Fälle sicher unzutreffend. Eine derartige Innenzone existiert bei der embryonalen Symphyse kaum.

Ähnlich wie bei der Zwischenwirbelscheibe erfolgt von außen nach innen ein allmählicher Übergang des fibrillären Bindegewebes in Faserknorpel. Besonders ausgebildet an seiner Peripherie, zeigt der Faserknorpel auch bei der Symphyse die wechselweise schräg verlaufenden und sich spitzwinklig schneidenden Strukturrichtungen je zweier benachbarter Lamellen (s. Abb. 7 und 8). Diese Strukturbilder zeigen vor allem der dorsale und craniale, in vermindertem Maße der ventrale und caudale Abschnitt. Die Fasern verlaufen jedoch nicht

wie bei der Zwischenwirbelscheibe straff gespannt und nur leicht gewölbt von Hyalinknorpel zu Hyalinknorpel, sondern sind (im peripheren Anteil) viel stärker ausgebuchtet. Hierin drückt sich die verschiedene funktionelle Bedeutung dieser Strukturen aus: bei der Zwischenwirbelscheibe Resistenz der peripheren Faserlamellen gegen Biegungs- und Torsionsbeanspruchung der Wirbelsäule, erst in zweiter Linie Schutz gegen die Sprengwirkung des Nucleus pulposus, bei der Symphyse in erster Linie Auffangen der Wasserkissenwirkung der zentralen Anteile des Faserknorpels (s. S. 27). Der Schutz gegen die Zugbeanspruchung der Symphyse obliegt dagegen vor allem dem Bindegewebsapparat (s. S. 27).

Den Befund *Praders*, daß in der Zwischenwirbelscheibe zahlreiche Fasern auf der ganzen Lamellenfläche in die Nachbarlamellen ausstrahlen und so eine innige Verzahnung darstellen, konnte ich bei der Schamfuge von Neugeborenen und Kleinkindern nur in geringerer Ausbildung bestätigt finden. Darin drückt sich ebenfalls die verschiedene Beanspruchung aus: im Gegensatz zu den Zwischenwirbelscheiben ist die Symphyse keinen Torsionswirkungen ausgesetzt.

Die Symphyse wird zur Hauptsache von *Blutgefäßen* versorgt, die vom Lig. arcuatum pubis (Gebiet der Aa. penis bzw. clitoridis) aufsteigen und unter Verzweigung und Abgabe von Ästen in die ventrale Bindegewebsplatte einbiegen (eigene Feststellung an einer Gewebsscheibe der sagittal geschnittenen Symphyse eines 10 Monate alten Mädchens). Die Gefäße gelangen zwischen den Bindegewebsbündeln des ventralen Symphysendreiecks hindurch bis nahe an den ventralen Faserbogen. Sie geben hier (4.-5. Embryonalmonat) nach beiden Seiten verhältnismäßig dicke Gefäße in den Hyalinknorpel ab (s. Abb. 1b und 2c), wo sie sich verzweigen und nach *Hintzsche* und *Putschar* mit Knochenmarksgefäßen anastomosieren.

Nach vorn median dringen keulenförmige *Gefäßknäuel* zwischen die Fäserchen des vorderen Faserknorpelbogens ein, gelangen jedoch nicht bis ins Spaltgebiet. Ein besonders eindruckliches Bild dieser stockwerkartig übereinander angeordneten Kapillarkonvolute zeigt Abb. 10. Dazu passen entsprechende Frontalschnitte der Symphyse eines weiblichen Neugeborenen, bei dem ausnahmsweise die Kapillarknäuel weit zwischen die Hyalinknorpel eindringen (s. Abb. 11).

Sowohl in der Schamfuge wie im Discus intervertebralis dringen die Gefäße wenig weit in den Faserknorpel ein und überschreiten nirgends die sehr dicht gewobene Grenze zwischen hyalinem Knorpel und Faserknorpel. Während aber bei der Zwischenwirbelscheibe die Gefäße gleichmäßig auf den ganzen Umfang

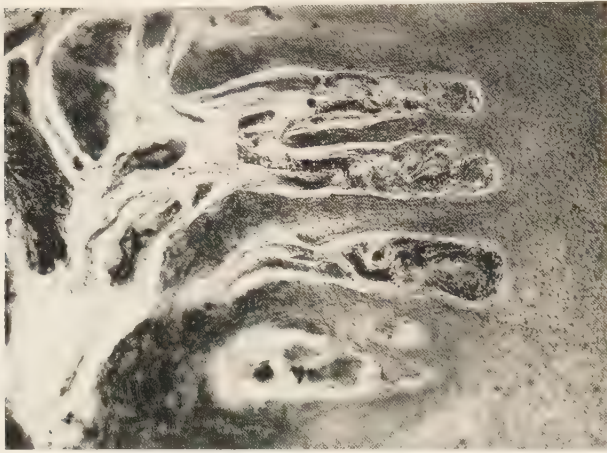


Abb. 10. Kapillarkonvolute im vorderen Symphysendreieck. Mediane Sagittalschnitte. Männliches Neugeborenes. 55fache Vergrößerung.



Abb. 11. Kapillarkonvolute im ventralen Symphysendreieck. Mittlerer Frontalschnitt. Weibliches Neugeborenes. 55fache Vergrößerung.

verteilt sind, überwiegen bei der Symphyse die von ventral an den Faserknorpel herantretenden bei weitem. Beim *Discus intervertebralis* wird der Hyalin- und Faserknorpel von getrennten Gefäßen versorgt, bei der Schamfuge geben die Gefäße des ventralen Symphysendreiecks Zweige sowohl an den Faser- als auch an den Hyalinknorpel ab.

VI. Der funktionelle Bau der Symphyse.

Es ist verhältnismäßig leicht, die Struktur der Symphyse zu untersuchen. Schwieriger ist es zu beurteilen, wie sich Bau und Funktion zueinander verhalten, sind doch unsere Kenntnisse über die funktionelle Beanspruchung der Schamfuge recht gering (vgl. S. 4). Man hat daher auch versucht, aus der Anordnung der einzelnen Baubestandteile und aus den Veränderungen, denen sie im Laufe der Entwicklung unterliegen, auf die funktionellen Anforderungen zu schließen.

In der *Phylogenie* macht sich, wie am übrigen Becken, die infolge der aufrechten Haltung des Menschen aufgetretene vermehrte Beanspruchung auch an der Symphyse geltend (E. Nauck, 1938).

Im *foetalen Zustand* ist mit einer wesentlichen Beanspruchung der Symphyse nicht zu rechnen. Trotzdem zeigt sie schon in ihrem frühembryonalen Zustand Baueigentümlichkeiten, die im Hinblick auf die postnatale Beanspruchung zu verstehen sind. Der Fibrillenverlauf im Hyalinknorpel ist von Anfang an (7. Embryonalwoche) in der endgültigen Richtung prinzipiell festgelegt. Die Anlage für den zukünftigen Symphysenspalt erfolgt fast ebenso frühzeitig (10. Woche), und das Bindegewebe des vorderen Symphysendreiecks enthält schon in diesem Entwicklungsstadium die ersten, sich spitzwinklig kreuzenden transversalen Fasern. Auf diese Tatsache, daß die Architektur des Fasergewebes bereits in einem sehr frühen Entwicklungsstadium in ihren Grundzügen festgelegt ist, haben auch A. W. Brockmann (1942), G. Töndury (1944) sowie A. Prader hingewiesen. Sie entspricht einem allgemeinen embryologischen Gesetz.

Bei der Geburt wird die kindliche Symphyse nicht formbestimmend beansprucht. Dagegen stellt sich im Säuglings- und Kindesalter (mit dem Erwerb der statischen Funktionen) das Problem, neben dem Wachstum zugleich den funktionellen Ansprüchen zu genügen. Dies drückt sich in folgender Baueigentümlichkeit aus: Die Schambeinenden sind mit dem Hyalinknorpel verzapft, was eine für das Knorpelwachstum bedeutsame Oberflächenvergrößerung bedingt. Diese anatomische Anordnung hilft außerdem – bei der

noch geringen Ausdehnung der Symphysenspalte — schädliche Schubwirkungen auf den zarten, noch wenig resistenten Säulenknorpel zu vermeiden und in Druckkräfte zu verwandeln, welche die Knochenhöcker in adaequater Art (senkrecht) belasten.

Für die Schoßfuge des *Erwachsenen* bestehen wohl Berechnungen über die Kräfte, welche im Beckenring auftreten können (*Fick*). Doch sind diese insofern nicht ganz mit der Wirklichkeit vereinbar, als meist nur das Skelett allein — bzw. die rein statische, nicht aber die viel größere dynamische (stoßweise) Beanspruchung — betrachtet wurde. Auch die Wirkung der Weichteile, insbesondere des Muskeltonus, wurde kaum berücksichtigt. Man müßte die an der Symphyse angreifenden Kräfte direkt am Lebenden bestimmen. Einige Anhaltspunkte geben die klinischen Erfahrungen bei traumatischer oder operativer Durchtrennung der Symphyse; dabei zeigt sich, daß für das Gehen und Sitzen eine intakte Schamfuge (d. h. ein geschlossener Beckenring) unerlässlich ist.

Es sind *Druck-, Zug- und Schubkräfte*, die auf die Schamfuge wirken, während unter physiologischen Bedingungen wesentliche Biegungs- und Torsionsmomente wohl kaum in Frage kommen. Beim Gehen, Laufen und Springen finden vielfach stoßweise Beanspruchungen statt. Die häufige Einwirkung großer Kräfte während kurzer Dauer kann nicht ohne Einfluß auf die Symphyse sein. Beim Sitzen und Stehen wird die Schamfuge vorwiegend statisch beansprucht: Es treten nur verhältnismäßig kleine Kräfte auf, die sich aber durch ihre lange Wirkungsdauer auszeichnen. Im Liegen ist die Schamfuge weitgehend entlastet.

Die *Druckkräfte*, welche die beiden Schambeinenden gegeneinanderdrücken, werden vom Knochen zunächst auf den Hyalinknorpel und von diesem weiter auf den Faserknorpel der Symphyse übertragen. In der Medianebene umfaßt die druckwirksame Fläche das Gebiet der Symphysenspalte und eine angrenzende Randzone, die umso breiter ist, je weniger ausgedehnt die Schamfugenspalte ist. Dabei ist das peripher gelegene Bindegewebe von untergeordneter Bedeutung, da Faserbündel zur Übertragung von Zug-, jedoch nicht von Druckkräften geeignet sind (s. Abb. 9).

Im Hyalinknorpel bilden die Fibrillenstreifen mit der Richtung der Druckwirkung einen Winkel von rund 45° bis 75° und verhindern damit durch ihre raumgitterartige Anordnung ein seitliches Ausweichen der Knorpelgrundsubstanz, woraus die der Druckwirkung adaequate Beanspruchung dieser Bauelemente erhellt (vgl. S. 21).

Zum Auffangen *wiederholter Stoßwirkungen*, welche die Symphyse treffen, ist die vorliegende Konstruktion des Faserknorpels offensichtlich besonders geeignet. Es ist naheliegend, auch den lamellen- und zwiebelchalenartigen Bau desselben mit einer Wasserkissenwirkung in Beziehung zu bringen. Dafür spricht die bei der makroskopischen Präparation (vor allem bei der kindlichen Symphyse) feststellbare saftreiche und schwammige Beschaffenheit des Faserknorpels. Wenn man die beiden Hälften von Scheiben horizontal geschnittener kindlicher Symphysen (von Hand) gegeneinander anpreßt, fühlt man auch einen federnden Widerstand, der mehr durch die Faserknorpel- als durch die Hyalinknorpelschicht bedingt ist. Dabei quillt die zwischen den Fasern befindliche Flüssigkeit (Sol) wie beim Auspressen eines Schwammes heraus. Man stelle sich demnach vor, daß bei einem Stoß in transversaler Richtung auf die Symphyse die Gewebeflüssigkeit zwischen den Fasern hindurch sich nach der Peripherie hin bewegt und damit der Stoß gedämpft wird. Möglicherweise beruhen die bei der Symphyse des Erwachsenen auftretenden Veränderungen zum Teil auf einem Versagen dieser Wasserkissenwirkung.

Weiter spricht auch der *auffällige Gefäßreichtum* der Schamfuge dafür, daß hier zumindest im Kindesalter besondere Verhältnisse in bezug auf Flüssigkeitsaustausch bestehen müssen. Die glomerulumartige Anordnung der Blutkapillaren im ventralen Symphysenschnitt findet sich gerade dort, wo der Faserknorpel an Bindegewebe grenzt (Grenzgebiet der druckbeanspruchten Zone, s. Abb. 1e, 10 und 11). Das läßt die Vermutung zu, daß dieser Apparat nicht nur der Ernährung, sondern auch der Aufrechterhaltung eines bestimmten Quellung-zustandes der interzellulären Kolloide im Faserknorpel dient. Vielleicht werden diese Gefäße zum Teil direkt ausgepreßt und wirken in dieser Weise als Stoßdämpfer mit.

Zugkräfte, welche die Schamfuge in transversaler Richtung beanspruchen, werden zur Hauptsache vom Bindegewebsapparat (Lig. pubicum, Lig. arcuatum pubis, ventrale Bindegewebsplatte) aufgefangen. Die Mehrzahl dieser Faserbündel haben nämlich einen zu dieser Zugrichtung spitzwinkligen Verlauf und bilden um die knorpelige Symphyse in ihrer Gesamtheit ein kurzes, scherengitterartig gebautes Schlauchstück, das beiderseits kontinuierlich ins Periost übergeht.

Vorn und unten sind diese Bandmassen mächtiger als hinten und oben und dienen hier auch als Muskelanheftungsstellen (Mm.

recti abdominis, pyramidales, adductores longi, graciles). Bei der (foetalen und kindlichen) Schamfuge inserieren vorwiegend in diesem vorderen Abschnitt Sehnenfasern im Perichondrium und lassen sich bis in den hyalinen Knorpel hinein verfolgen. Die im Pubertätsalter an dieser Stelle auftretenden Randepiphysen bestätigen die hier herrschende Zugbeanspruchung.

Der hyaline Knorpel des ventralen Abschnittes der Symphyse, den wir bereits bei der Beschreibung der Horizontalschnitte gesondert betrachtet haben (s. S. 8), kann somit gar keine Bedeutung für transversal wirkende Druckkräfte haben. Denn das dazwischen liegende Bindegewebe des vorderen Symphysendreiecks wäre ungeeignet, solchen Druckkräften zu widerstehen (s. Abb. 5). Dieser Teil des Symphysen-Hyalinknorpels scheint daher vor allem solchen Druckkräften entgegenzuwirken, die bei der hier besonders starken Zugbeanspruchung des Perichondriums (vordere Einstrahlungszone S. 14) auftreten. Zugleich dürfte es sich um eine Art Puffer gegen von außen auf diese exponierte Stelle des Beckenringes wirkende Kräfte handeln. Beim Erwachsenen wird dann diese Funktion ausschließlich durch den polsterartigen Bau der Haut mit ihrem besonders bei der Frau gut entwickelten Fettpolster und die mächtige darunter liegende verfilzte Bindegewebsplatte garantiert.

Die Seltenheit von Symphysensprengungen beweist, daß die normale Symphyse sehr zugresistent gebaut ist. Die Schamfuge, die schon in der *Gravidität* vermehrt beansprucht wird, erleidet unter der *Geburt* fast regelmäßig eine gewisse Dehnung (von durchschnittlich 1 cm, *Haslhofer*). Die hormonal bedingte Auflockerung und Nachgiebigkeit des Bindegewebes läßt im Knorpel, der einer so inadäquaten (Zug-)Beanspruchung am wenigsten gewachsen ist, Risse entstehen, welche in ihrem Verlauf große Ähnlichkeit mit den von mir experimentell erhaltenen Rißlinien haben (s. Abb. 2 und bei *Haslhofer*).

Von erheblicher Bedeutung müssen die *Schubkräfte* sein, welche die beiden Schambeinenden gegeneinander zu verschieben trachten. Im ventralen Teil der Symphyse findet sich daher ein sehr kräftiges Gitterwerk von sich kreuzenden Bindegewebsbündeln (s. Abb. 5 und 9). Schneidet man von einer Scheibe einer horizontal geschnittenen kindlichen Symphyse den ventralen Teil vom übrigen (den Faserknorpel enthaltenden) Teil, so findet man an beiden Gewebestücken ein Nachgeben auf Zug, Druck und Schub. Das bedeutet,

daß nur im Zusammenhang mit dem relativ druckfesten dorsalen Anteil die Scherengitterwirkung des ventralen Abschnittes eintritt, die Bindegewebsbündel sich spannen und damit den Schub auffangen. Analoges läßt sich an frontal geschnittenen Symphysenscheiben feststellen. Für die Annahme, daß die Schubkräfte in allen in der Sagittalebene gelegenen Richtungen auftreten können, spricht die Tatsache, daß die sich kreuzenden Bindegewebsbündel weder die Horizontal- noch die Frontalebene bevorzugen, sondern eine Vielzahl von schrägen Richtungen einschlagen.

Zweifellos wird auch der hyaline Knorpel von diesen Schubkräften betroffen, ist doch kaum anzunehmen, daß der diesen umgebende Bindegewebs Schlauch diese Kräfte allein aufzufangen imstande wäre. Auch in dieser Beziehung läßt das von *O. Bucher* gefundene, hier erneut festgestellte Bauprinzip gegenüber der *Benninghoff'schen* Darstellung die überzeugendere funktionelle Deutung zu.

Die Bedeutung des *Symphysenspaltes* ist darin zu suchen, daß Schubkräfte, welche die Schamfuge treffen, den Knorpel nicht durch Abscherung zertrümmern, sondern lediglich eine leichte, unschädliche Verschiebung der Knorpelflächen bedingen.

Mit den vorstehenden Ausführungen wurde zu zeigen versucht, daß auch *im Bau der Symphyse nichts Zufälliges oder Ungeordnetes vorliegt, sondern daß eine gesetzmäßige, funktionell sinnvolle anatomische Bauweise verwirklicht ist.*

VII. Zusammenfassung.

Die Struktur der Symphyse läßt sich beim Embryo und Kleinkind polarisationsmikroskopisch gut untersuchen.

Die kollagenen Fibrillen bilden im *hyalinknorpeligen Anteil* der Schamfuge, welcher vor allem Druck- und Schubkräfte aushalten muß, ein dreidimensionales Gitterwerk aus sich kreuzenden Fibrillenzügen.

Der *Faserknorpel* der Symphyse weist verschiedene Ähnlichkeiten mit der Zwischenwirbelscheibe auf. Er wird hauptsächlich von vorn her durch glomerulumartig angeordnete Kapillaren versorgt. Funktionell wirkt er als eine Art Wasserkissen, vor allem gegen Stoßwirkungen in transversaler Richtung.

Das *fibrilläre Bindegewebe* der Schamfuge, welches durch Zug- und Schubkräfte beansprucht wird, ist scherengitterartig angeordnet und hauptsächlich transversal gerichtet.

Summary.

The structure of the symphysis pubis in the embryo and in the little child can be especially well examined by polarised light.

The collagenic fibrils in the hyaline part of the symphysis, which first of all have to withstand forces of pressure and of shoving, form a three-dimensional latticework of crossing fibril courses.

The fibrous cartilage of the symphysis shows some affinity to the discus intervertebralis. It chiefly is provided for from the front by capillaries disposed like glomerula. It has the function of a water-cushion against transversal pushings.

The fibrous connective tissue of the symphysis which withstands forces of drawing and shoving, with its latticed disposition follows a principally transversal course.

Résumé.

Chez l'embryon et le petit enfant la structure de la symphyse se laisse examiner particulièrement bien au microscope polarisateur.

Dans la partie hyaline du cartilage symphysaire, qui avant tout doit supporter des forces de pression directe et latérale, les fibrilles collagènes qui se croisent forment un grillage de trois dimensions.

Le cartilage fibreux de la symphyse démontre plusieurs ressemblances au disque intervertébral. De devant il est pourvu principalement par des capillaires disposées à la manière de glomérules. Il fonctionne en sorte de coussin d'eau surtout contre les effets de poussées en direction transversale.

Le tissu conjonctif fibreux de la symphyse qui est soumis aux efforts de forces de tension directe et oblique est – vu sa disposition de grillage – principalement rangé transversalement.

VIII. LITERATURVERZEICHNIS.

- Aeby, Ch.*: Z. rat. Med. 4, 39–47, 1858. – *Amprino, R.*: Monitore Zoolog. ital. 48, Suppl. Vol., 124–126, 1938. – *Amprino, R. u. A. Bairati*: Z. Zellforschung 21, 464–473, 1934. – *Bayer, H.*: Das Becken und seine Anomalien. Vorlesungen allg. Geb.hilfe. 1, 111–124, 1903. – *Benninghoff, A.*: Anat. Anz. 55, Erg.-H., 250–267, 1922. – *Braus, H.*: Anatomie des Menschen. Bd. 1, Berlin 1929 (2. Aufl.). – *Brockmann, A. W.*: zitiert nach *Putschar*, 1942. – *Bucher, O.*: Z. Zellforschung Abt. A. 32, 281–299, 1942 (a). – Anat. Anz. 93, 289–314, 1942 (b). – Histologie und mikroskopische Anatomie. Bern 1948. – *Cannieu et Lafitte-Dupont*: Des cartilages et fibrocartilages articulaires. Ann. med. chir. Bordeaux 1899. – *Fick, R.*: Anat. Anz. 19, 307–312, 1901; – Handbuch der Anat. des Menschen, Bd. I, 1904. – *Gatta, R.*: Arch. ital. Anat. 33, 813–843, 1934. – *Haslhofer, L.*: Arch. Gynäk. 147,

179–295, 1941. – *Hintzsche, E.*: Z. mikr.-anat. Forschung. 12, 61–121, 1927; – *ibid.* 25, 320–361, 1931; – *ibid.* 32, 1–41, 1932. – *Keibel, F. u. P. Mall*: Hb. d. Entwicklungsgeschichte d. Menschen. I. 1910. – *Loeschke, H.*: Arch. Gynäk. 96, 528–540, 1912. – *Luschka, H.*: Virchows Arch. 7, 299–312, 1854. – *Martius, H.*: zitiert nach *Stoeckel*, 1943. – *Merkel, Fr.*: Anat. Hefte 20, 128–146, 1902. – *Nauck, E.*: Handb. der vergleichenden Anatomie der Wirbeltiere, Bd. 5, 160–209, 1938. – *Oberholzer, R.*: Z. Zellforschung. 32, 517–534, 1943. – *Petersen, H.*: Histologie und mikroskopische Anatomie. 1935. – *Prader, A.*: Acta Anat. 3, 68–83 u. 115–152, 1947. – *Putschar, W.*: Entwicklung, Wachstum u. Pathologie der Beckenverbindungen des Menschen. Jena 1931. – *Romeis, B.*: Taschenbuch der mikroskopischen Technik. 1932. – *Schaffer, J.*: Handb. der mikroskopischen Anatomie des Menschen, Bd. II/2, 280–371, 1930. – *Scherer, H.*: Schwz. Med. Wschr., 1944, 1067–1071. – *Schmidt, W. J.*: Die Doppelbrechung des Karyoplasmas, Protoplasma u. Metaplasma. Protoplasmanomographie. II, 1937. – Polarisationsoptische Analyse d. mikroskop. Baues v. Zellen u. Geweben. Handbuch der biolog. Arbeitsmeth., Bd. V/10, I, 455–665, 1938. – *Stoeckel, W.*: Lehrbuch der Geburtshilfe. Jena 1943 (7. Aufl.). – *Strasser, H.*: Lehrbuch d. Muskel- u. Gelenkmechanik. 1908. – *Töndury, G.*: Jahreskurse f. ärztl. Fortb. 35, 1944. – *Triepel, H.*: Die trajektoriellen Strukturen. 1908. – *Walkhoff, E.*: Physikal.-med. Gesellschaft Würzburg 1904, 11–14. – *Zulauf, C.*: Arch. Anat. 1901, 45–116.

Eingegangen am 1. April 1948.

Lebenslauf

Ich, Jak. Paul Baer, wurde 1922 als Bürger der Stadt Zürich geboren. Hier besuchte ich 6 Jahre die Primarschule und $6\frac{1}{2}$ Jahre das Kantonale Gymnasium. Nach der Matur (1941) widmete ich mich dem Medizinstudium. Von 12 Semestern belegte ich 11 in Zürich und eines (das 3. klinische), in Lausanne. 1942 bestand ich die naturwissenschaftliche, 1944 die anatomisch-physiologische Prüfung und im Herbst 1947 das Staatsexamen.